

6. Определение количественных характеристик двигателя бытовой электростанции при использовании генераторного газа в качестве альтернативного топлива / С. А. Плотников [и др.] // Проблемы региональной энергетики [Электронный ресурс]. – № 2 (34). – 2017. – С. 105–111.

7. Карташевич, А. Н. Исследование свойств альтернативных топлив на основе рапсового масла / А. Н. Карташевич, С. А. Плотников, П. Н. Черемисинов // Вестник БГСХА. – 2017. – № 3. – С. 144–146.

УДК 631.363

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ОТСЕИВАЮЩИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПРОЦЕССА ЭКСПАНДИРОВАНИЯ

С. И. КОЗЛОВ, канд. техн. наук, доцент
УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
Горки, Республика Беларусь

Введение. В результате проведенных ранее исследований выявлено, что при экспандировании зерна ржи и бобов сои требуется уделять особое внимание наличию в полученном продукте антипитательных веществ (ингибиторов трипсина) [1]. Однако из-за невозможности проводить биологические исследования полученного продукта в лабораторных условиях качественным параметром оптимизации нами был выбран коэффициент взорванности k_v , величина которого показывает степень структурных преобразований обрабатываемого материала при баротермической обработке [5].

Проведенные теоретические исследования обработки зерна ржи и бобов сои на экспандере предусматривают учет всех факторов [1], оказывающих влияние на протекание и конечные результаты изучаемого процесса. К совокупности исследуемых факторов предъявляется основное требование, предусматривающее то, что факторы должны быть управляемыми и контролируруемыми.

Этому требованию соответствуют следующие конструктивные, технологические и кинематические параметры рабочего органа, выбранные ранее [2, 3, 4]:

- длина предматричной камеры;
- длина матричного отверстия;
- частота вращения шнека;
- температура нагрева корпуса шнека и влажность обрабатываемого материала;
- диаметр матричного отверстия.

Основная часть. Для определения экспериментальной области факторного пространства использовались результаты, полученные при проведении однофакторных поисковых экспериментов [5], с учетом того, что для решения задачи оптимизации необходимо выбирать при первой серии опытов область, которая обеспечивает возможность пошагового движения к оптимуму.

При проведении отсеивающих экспериментов выбор уровней и интервалов варьирования факторов осуществлялся с учетом априорной информации о точности фиксирования их значений, диапазоне изменения параметров оптимизации и характере поверхности отклика [6]. В соответствии с рекомендациями принимаем функцию, описывающую поверхность отклика нелинейной, а диапазон изменения параметра оптимизации широким и выбираем уровни и интервалы варьирования факторов.

В табл. 1 представлены результаты выбора основных уровней варьирования факторов.

Таблица 1. Факторы и уровни их варьирования

№ п. п.	Факторы, размерность	Границы варьирования		Обозначение	Количественный показатель	Качественный показатель	
		(-)	(+)				
					Y_1	Y_2	
1	Длина предматричной камеры, $L_{пр}$, м	0,012	0,024	X_1	Э	K_b	
2	Длина канала матрицы, $L_{м.о}$, м	0,036	0,047	X_2			
3	Частота вращения шнека, ω , c^{-1}	2,5	5,0	X_3			
4	Температура нагрева шнековой камеры, $^{\circ}C$	Для ржи	170	200			X_4
		Для сои	170	195			
5	Влажность обрабатываемого материала, W , %	17	26	X_5			
6	Диаметр матричного отверстия, $d_{м.о}$, м	Для ржи	0,024	0,033	X_6		
		Для сои	0,026	0,036			

Отсеивающие эксперименты проводили в начальной стадии изучения объекта исследования с целью исключения малозначащих факторов и сокращения последующего числа опытов.

Суть метода заключается в том, что если факторы расположить в порядке убывания их доли, вносимой в дисперсию критерия оптимизации, то получится ранжированный ряд вида убывающей экспоненты.

Небольшим числом опытов воспроизводят этот ряд и при помощи регрессионного анализа оценивают наиболее значимые эффекты факторов на шумовом поле, создаваемом несущественными факторами.

Построение ранжированного ряда производили параллельно для выбранных культур по каждому из параметров оптимизации.

Была проведена серия опытов по общепринятой методике [6] и построены матрицы отсеивающего эксперимента. При этом факторы кодировались: (-) – нижний, (+) – верхний уровень варьирования фактора, а результаты экспериментов вписывались в последние столбцы матрицы: Y_1 – энергоёмкость, Y_2 – коэффициент взорванности. По обоим из этих параметров оптимизации подсчитывалось среднее значение для каждого опыта, исходя из числа повторностей.

На основании экспериментов были построены диаграммы рассеяния факторов (рис. 1).

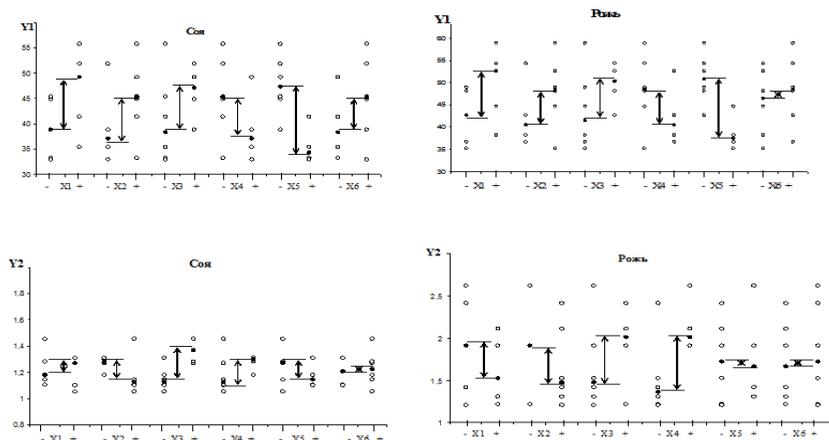


Рис. 1. Диаграммы рассеяния факторов для Y_1 и Y_2

Учет степени влияния того или иного фактора производили визуально по величине разности между средними значениями критерия оптимизации, вычисленными отдельно для каждого уровня варьирования фактора. В качестве среднего значения параметра оптимизации принимали медиану. На этом этапе для удобства оценки влияния факторов была составлена программа в Microsoft EXCEL для шестифакторного эксперимента.

По диаграмме рассеяния выделяли два наиболее значимых фактора по каждому из параметров оптимизации. Для Y_1 – это x_1 и x_5 , для Y_2 x_3 и x_4 . Эффекты факторов количественно оценивали с помощью таблицы с двумя входами.

Величина эффектов факторов x_i подсчитывалась по формуле [7, 8]

$$x_i = \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_3 + \bar{y}_5 + \dots + \bar{y}_n}{k_i} - \frac{\bar{y}_2 + \bar{y}_4 + \bar{y}_6 + \dots + \bar{y}_{n+1}}{k_i}, \quad (1)$$

где $\bar{y}_1, \bar{y}_3, \bar{y}_5, \dots, \bar{y}_n$ – средние значения параметра оптимизации в каждой клетке таблицы для уровня (+);

$\bar{y}_2, \bar{y}_4, \bar{y}_6, \dots, \bar{y}_{n+1}$ – средние значения параметра оптимизации в соответствующей клетке таблицы для уровня фактора (-);

k_i – число средних значений критерия оптимизации, \bar{y}_n .

После расчета эффектов выделенных факторов, проверяли их значимость по t -критерию.

Значение t -критерия определяли по формуле [7, 8]

$$t = \frac{(\bar{y}_1 + \bar{y}_3 + \dots + \bar{y}_n) - (\bar{y}_2 + \bar{y}_4 + \dots + \bar{y}_{n+1})}{S_R \sqrt{\sum \frac{1}{n_i}}}, \quad (2)$$

где $S_R = \sqrt{\frac{\sum y_i^2}{n_i - 1} - \frac{(\sum y_i)^2}{n_i \cdot (n_i - 1)}}$ – среднеквадратическая ошибка, характери-

зующая рассеяние относительно средних в клетках таблицы с несколькими входами;

n_i – число наблюдений в i -й клетке таблицы с несколькими входами.

На основании данного алгоритма была составлена программа в Microsoft EXCEL, позволяющая вычислить эффекты факторов и на основании t -критерия, оценить значимость выбранных факторов.

После соответствующих вычислений были определены эффекты факторов: x_1 и x_5 для Y_1 , x_3 и x_4 для Y_2 , а также сделана оценка их значимости по t -критерию. Результаты вычислений сведены в табл. 2.

Таблица 2. **Оценки значимости факторов**

Культуры	Параметры оптимизации							
	Y_1				Y_2			
	эффект фактора		t -критерий фактора		эффект фактора		t -критерий фактора	
	x_1	x_5	tx_1	tx_5	x_3	x_4	tx_2	tx_4
Рожь	7,0972	-2,2293	3,3187	-1,7186	-0,3466	0,5242	-7,823	2,5869
Соя	7,2610	-1,9687	3,5062	-1,7795	-0,3584	0,7255	-5,418	2,4820

По параметру оптимизации Y_1 выбранный фактор x_1 оказался значимым, а фактор x_5 незначимым, так как величина t -критерия первого фактора больше табличного, второго же – меньше. По параметру оптимизации Y_2 выбранные факторы оказались значимыми, так как величина t -критерия каждого из факторов больше его табличного значения. При числе степеней свободы $f = 6$ табличное значение t -критерия $t = 2,447$. Таким образом, выделенные факторы оказались значимыми с вероятностью 95 %.

После определения эффектов факторов x_1 и x_5 для Y_1 , x_3 и x_4 для Y_2 была произведена корректировка результатов отсеивающих экспериментов. Корректировку производили для того, чтобы выделить эффекты других менее сильных факторов и их парных взаимодействий. Она осуществлялась путем прибавления эффектов выделенных факторов с обратным знаком к результатам отсеивающих экспериментов на верхнем уровне (+).

После корректировки результатов строили скорректированную диаграмму рассеяния факторов с их парными взаимодействиями.

В результате анализа скорректированной диаграммы рассеяния факторов и парных взаимодействий снова выделяли два наиболее значимых фактора: x_3 и x_4 для Y_1 , x_{15} и x_5 для Y_2 . Расчет эффектов выделенных факторов, а также проверку их значимости по t -критерию производили по вышеизложенной методике. Результаты расчетов свели в табл. 3.

Таблица 3. **Оценки значимости факторов**

Культуры	Параметры оптимизации							
	Y_1				Y_2			
	эффект фактора		t -критерий фактора		эффект фактора		t -критерий фактора	
	x_3	x_4	tx_3	tx_4	x_{15}	x_{15}	tx_{15}	tx_{15}
Рожь	6,5487	-4,3406	2,9347	-2,9452	4,6183	0,4822	6,5009	2,0693
Соя	6,8488	-4,0305	2,9307	-2,7247	-6,6230	0,2990	3,507	1,6892

Заклучение. Сравнивая полученные значения t -критерия с табличным его значением, делаем вывод о том, что факторы x_1, x_3, x_4 оказались значимыми, а парное взаимодействие x_{15} – незначимым для обеих культур. Таким образом, последовательное применение метода отсеивания позволило за два этапа выделить все существенные факторы: x_1, x_3 и x_4 для Y_1, x_1, x_3, x_4 , для Y_2 и оценить эффекты этих факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проблемы переработки фуражного зерна при производстве комбикормов и пути их решения / В. А. Шаршунов [и др.] // Известия БИА. – № 2. – 1999. – С. 6–9.
2. Козлов, С. И. Выбор конструктивных параметров шнека экспандера для обработки фуражного зерна / С. И. Козлов, Е. Н. Медведева // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения: сб. науч. работ. – Брянск: Изд-во Брянской ГСХА, 2013. – С. 89–94.
3. Козлов, С. И. Расчет основных параметров экспандера с электрическим нагревом корпуса шнека / С. И. Козлов, Т. М. Чубукова, Д. Ю. Мельник // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 3. – С. 55–57.
4. Козлов, С. И. Обоснование конструктивных параметров предметричной камеры экспандера / С. И. Козлов // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения: сб. науч. тр. – Брянск: Изд-во Брянского ГАУ. – 2016. – С. 45–52.
5. Козлов, С. И. Результаты однофакторных поисковых экспериментов по изучению процесса экспандирования / С. И. Козлов, В. М. Кузюр // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения: сб. науч. работ. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2017. – С. 211–219.
6. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
7. Финин, Д. Введение в теорию планирования эксперимента / Д. Финин. – М.: Наука, 1970. – 288 с.
8. Методика выбора и оптимизации контролируемых параметров технологических процессов: метод. указания, РДМУ 109–77. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 64 с.